

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09162034 A**

(43) Date of publication of application: **20 . 06 . 97**

(51) Int. Cl

H01F 10/08
C23C 14/14
C23C 14/34
H01F 10/30
H01F 41/18

(21) Application number: **07345707**

(22) Date of filing: **08 . 12 . 95**

(71) Applicant: **YASKAWA ELECTRIC CORP**

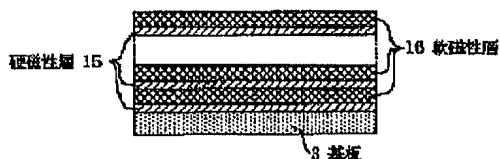
(72) Inventor:
YAMASHITA SHINJI
ISHIDA YUJI
IKEDA MITSUAKI

(54) FILM MAGNET AND ITS FORMATION METHOD

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a film magnet wherein even in the case of its thinned film effective magnetic energy can be utilized to make the improved performance and reduced the size of a permanent-magnet application device possible.

SOLUTION: A film magnet with the structure of a multilayer alloy film comprising alternately laminated hard- and soft-magnetic layers 15, 16 on a substrate 3 in the formation method of which, heating the substrate 3 to a temperature within the scope of 450-800°C, the hard-magnetic layer 15 2-4nm thick per layer is formed by sputtering on the substrate 3, and then, heating the substrate 3 to a temperature within the range of 150-650°C, the soft-magnetic layer 16 6-12nm thick per layer is formed by sputtering on the hard-magnetic layer 15 to laminate repeatedly the alternate hard- and soft-magnetic layers 15, 16 and form the multilayer alloy film.



COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-162034

(43) 公開日 平成9年(1997)6月20日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 F 10/08			H 0 1 F 10/08	
C 2 3 C 14/14			C 2 3 C 14/14	F
			14/34	P
H 0 1 F 10/30			H 0 1 F 10/30	
41/18			41/18	
審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 7 頁)				

(21) 出願番号 特願平7-345707

(22) 出願日 平成7年(1995)12月8日

(71) 出願人 000006622

株式会社安川電機

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

(72) 発明者 山下 慎次

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

(72) 発明者 石田 雄二

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

(72) 発明者 池田 満昭

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

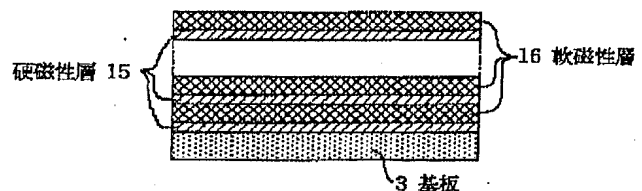
株式会社安川電機内

(54) 【発明の名称】 膜磁石及びその形成方法

(57) 【要約】

【目的】膜厚を薄くしても、有効な磁気エネルギーが利用でき、永久磁石を応用した装置の高性能化、小型化が可能となる膜磁石を得る。

【構成】基板3上に、硬磁性層15と軟磁性層16を交互に積層した多層合金膜を有する構成の膜磁石及びその形成方法において、基板3を摂氏450度ないし800度の範囲の温度に加熱し、スパッタにより基板3上に硬磁性層15を一層あたり2nmないし4nmの厚さに形成し、次に基板3を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱し、スパッタにより硬磁性層15上に軟磁性層16を一層あたり6nmないし12nmの厚さに形成し、硬磁性層15と軟磁性層16を交互に繰り返して積層して多層合金膜を形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 高エネルギー積を有し、基板上に硬磁性層と軟磁性層を交互に積層した多層合金膜を有する膜磁石において、

前記基板上に、一層あたり2nmないし4nmの厚さを有し厚さ方向に異方性をもつ前記硬磁性層と、一層あたり6nmないし12nmの厚さを有し厚さ方向に異方性をもつ前記軟磁性層とが交互に積層されていることを特徴とする膜磁石。

【請求項2】 前記硬磁性層は希土類元素をRとした場合、 $R_2Fe_{14}B$ で表される化合物または $SmCo_5$ 、 $Sm(Co, Fe, Cu, Zr)_{7.07}$ 、 $SmFe_{11}Ti$ 、 $Sm_2Fe_{17}N_2$ のいずれか一つで構成される合金膜であることを特徴とする請求項1に記載の膜磁石。

【請求項3】 前記Rは(Nd, Dy)、(Dy, Pr)、(Nd, Pr)のいずれか一つであることを特徴とする請求項2に記載の膜磁石。

【請求項4】 前記軟磁性層はFe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-N、Fe-Bのいずれか一つで構成される合金膜であることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の膜磁石。

【請求項5】 前記軟磁性層は飽和磁化を15kG以上を有する合金膜であることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の膜磁石。

【請求項6】 前記硬磁性層と前記軟磁性層の厚さの比が1対3であることを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載の膜磁石。

【請求項7】 高エネルギー積を有し、基板上に硬磁性層と軟磁性層を交互に積層した多層合金膜を有する膜磁石の形成方法において、

前記基板を摂氏450度ないし800度の範囲の温度に加熱し、スパッタにより前記基板上に前記硬磁性層を一層あたり2nmないし4nmの厚さに形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱し、スパッタにより前記硬磁性層上に前記軟磁性層を一層あたり6nmないし12nmの厚さに形成し、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層して多層合金膜を形成することを特徴とする膜磁石の形成方法。

【請求項8】 前記硬磁性層は希土類元素をRとした場合、 $R-Fe-B$ で表される合金をターゲットに用い、前記軟磁性層は、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bで表される合金のうちのいずれか一つをターゲットに用い、前記基板を摂氏450度ないし550度の範囲の温度に加熱してスパッタにより膜を形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱して、前記硬磁性層上に前記軟磁性層をスパッタにより膜を形成した後、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層し、 $R_2Fe_{14}B$ と、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bのうちのいずれか一つか

らなる多層合金膜を形成することを特徴とする請求項7に記載の膜磁石の形成方法。

【請求項9】 前記硬磁性層はSm-Coで表される合金をターゲットに用い、前記軟磁性層は、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bで表される合金のうちのいずれか一つをターゲットに用い、前記基板を摂氏600度ないし800度の範囲の温度に加熱してスパッタにより膜を形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱して、前記硬磁性層上に前記軟磁性層をスパッタにより膜を形成した後、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層し、 $SmCo_5$ と、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bのうちのいずれか一つからなる多層合金膜を形成することを特徴とする請求項7に記載の膜磁石の形成方法。

【請求項10】 前記硬磁性層はSm-Coで表される合金をターゲットに用い、前記軟磁性層は、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bで表される合金のうちのいずれか一つをターゲットに用い、前記基板を摂氏550度ないし750度の範囲の温度に加熱してスパッタにより膜を形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱して、前記硬磁性層上に前記軟磁性層をスパッタにより膜を形成した後、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層し、 $Sm(Co, Fe, Cu, Zr)_{7.07}$ と、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bのうちのいずれか一つからなる多層合金膜を形成することを特徴とする請求項7に記載の膜磁石の形成方法。

【請求項11】 前記硬磁性層はSm-Fe-Tiで表される合金をターゲットに用い、前記軟磁性層は、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bで表される合金のうちのいずれか一つをターゲットに用い、前記基板を摂氏450度ないし600度の範囲の温度に加熱してスパッタにより膜を形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱して、前記硬磁性層上に前記軟磁性層をスパッタにより膜を形成した後、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層し、 $SmFe_{11}Ti$ と、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bのうちのいずれか一つからなる多層合金膜を形成することを特徴とする請求項7に記載の膜磁石の形成方法。

【請求項12】 前記硬磁性層はSm-Feで表される合金をターゲットに用い、前記軟磁性層はFeを用い、前記基板を摂氏450度ないし550度の範囲の温度に加熱して、前記基板上に前記硬磁性層をスパッタにより膜を形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱して、前記硬磁性層上に前記軟磁性層をスパッタにより膜を形成した後、前記硬磁性層と

前記軟磁性層を交互に繰り返し積層し、続いて窒素雰囲気中で摂氏400度ないし550度の範囲の温度に熱処理して $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_2$ と Fe-N からなる多層合金膜を形成することを特徴とする膜磁石の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は高性能小型モータや磁気記録媒体等に用いられる膜磁石及びその形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、高性能小型モータ等に用いられる膜磁石の形成方法においては幾つかの発明がなされており、例えばスパッタによる希土類合金系磁石の薄膜化の検討が行なわれている。基板上に形成した希土類- Fe-B 系硬磁性薄膜単体あるいは希土類- Fe-B 系硬磁性薄膜の上に保護膜を積層した構成でバルク磁石並の磁気特性を有する異方性薄膜磁石が得られており、これにより接着層なしに基材の上にミクロンオーダーの厚さの磁石を直接形成することが可能となっている（例えば、特開平4-99010号）。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上記の従来技術では磁石を薄くするほど有効に取り出せる磁束密度が小さくなるという問題があった。図4は縦軸と横軸にそれぞれ磁石の磁束密度、磁界をとり磁石の減磁曲線とパーミアンス線の関係を示したものである。図に示すように磁石の動作点は磁石の減磁曲線とパーミアンス線の交点であり、この点の磁束密度が磁石から取り出せる有効な磁束密度である。一方、パーミアンス係数は反磁界係数に反比例する。膜磁石は面積に対して厚さが薄いいため反磁界係数が1に近いので、そのパーミアンス係数は非常に小さい。したがって、膜磁石を厚さ方向に一樣に着磁した場合、膜磁石から取り出せる有効な磁束密度が小さく、この膜磁石を応用した機器の性能が不十分であるという問題、また希土類硬磁性材料単体あるいは希土類硬磁性材料に保護膜を積層したものではより大きな最大エネルギー積を得ることができないという問題があった。そこで、本発明は膜厚を薄くしても有効な磁気エネルギーを取り出すことができ、より大きな高エネルギー積を有する膜磁石及びその形成方法を提供することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】上記問題を解決するため、本発明は次のような構成と方法にしたものである。

(1) 高エネルギー積を有し、基板上に硬磁性層と軟磁性層を交互に積層した多層合金膜を有する膜磁石において、前記基板上に、一層あたり2nmないし4nmの厚さを有し厚さ方向に異方性をもつ前記硬磁性層と、一層あたり6nmないし12nmの厚さを有し厚さ方向に異方性をもつ前記軟磁性層とが交互に積層されている。

(2) 前記硬磁性層は希土類元素をRとした場合、 $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ で表される化合物または SmCo_5 、 $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zr})_{7.07}$ 、 $\text{SmFe}_{11}\text{Ti}$ 、 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_2$ のいずれか一つで構成される合金膜とする。

(3) 前記Rは(Nd, Dy)、(Dy, Pr)、(Nd, Pr)のいずれか一つとする。

(4) 前記軟磁性層は Fe 、 Fe-Ni 、 Fe-Co 、 Fe-Si 、 Fe-N 、 Fe-B のいずれか一つで構成される合金膜とする。

(5) 前記軟磁性層は飽和磁化を15kG以上を有する合金膜とする。

(6) 前記硬磁性層と前記軟磁性層の厚さの比が1対3である膜磁石とする。

(7) 高エネルギー積を有し、基板上に硬磁性層と軟磁性層を交互に積層した多層合金膜を有する膜磁石の形成方法において、前記基板を摂氏450度ないし800度の範囲の温度に加熱し、スパッタにより前記基板上に前記硬磁性層を一層あたり2nmないし4nmの厚さに形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱し、スパッタにより前記硬磁性層上に前記軟磁性層を一層あたり6nmないし12nmの厚さに形成し、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層して多層合金膜を形成する。

(8) 前記硬磁性層は希土類元素をRとした場合、 R-Fe-B で表される合金をターゲットに用い、前記軟磁性層は、 Fe 、 Fe-Ni 、 Fe-Co 、 Fe-Si 、 Fe-N あるいは Fe-B で表される合金のうちのいずれか一つをターゲットに用い、前記基板を摂氏450度ないし550度の範囲の温度に加熱してスパッタにより膜を形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱して、前記硬磁性層上に前記軟磁性層をスパッタにより膜を形成した後、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層し、 $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ と、 Fe 、 Fe-Ni 、 Fe-Co 、 Fe-Si 、 Fe-N あるいは Fe-B のうちのいずれか一つからなる多層合金膜を形成する。

(9) 前記硬磁性層は Sm-Co で表される合金をターゲットに用い、前記軟磁性層は、 Fe 、 Fe-Ni 、 Fe-Co 、 Fe-Si 、 Fe-N あるいは Fe-B で表される合金のうちのいずれか一つをターゲットに用い、前記基板を摂氏600度ないし800度の範囲の温度に加熱してスパッタにより膜を形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱して、前記硬磁性層上に前記軟磁性層をスパッタにより膜を形成した後、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層し、 SmCo_5 と、 Fe 、 Fe-Ni 、 Fe-Co 、 Fe-Si 、 Fe-N あるいは Fe-B のうちのいずれか一つからなる多層合金膜を形成する。

(10) 前記硬磁性層は Sm-Co で表される合金をターゲットに用い、前記軟磁性層は、 Fe 、 Fe-Ni 、

Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bで表される合金のうちのいずれか一つをターゲットに用い、前記基板を摂氏550度ないし750度の範囲の温度に加熱してスパッタにより膜を形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱して、前記硬磁性層上に前記軟磁性層をスパッタにより膜を形成した後、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層し、Sm(Co, Fe, Cu, Zr)

7.07と、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bのうちのいずれか一つからなる多層合金膜を形成する。

(11) 前記硬磁性層はSm-Fe-Tiで表される合金をターゲットに用い、前記軟磁性層は、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bで表される合金のうちのいずれか一つをターゲットに用い、前記基板を摂氏450度ないし600度の範囲の温度に加熱してスパッタにより膜を形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱して、前記硬磁性層上に前記軟磁性層をスパッタにより膜を形成した後、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層し、SmFe₁₁Tiと、Fe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bのうちのいずれか一つからなる多層合金膜を形成する。

(12) 前記硬磁性層はSm-Feで表される合金をターゲットに用い、前記軟磁性層はFeを用い、前記基板を摂氏450度ないし550度の範囲の温度に加熱して、前記基板上に前記硬磁性層をスパッタにより膜を形成し、次に前記基板を摂氏150度ないし650度の範囲の温度に加熱して、前記硬磁性層上に前記軟磁性層をスパッタにより膜を形成した後、前記硬磁性層と前記軟磁性層を交互に繰り返し積層し、続いて窒素雰囲気中で摂氏400度ないし550度の範囲の温度に熱処理してSm₂Fe₁₇N₂とFe-Nからなる多層合金膜を形成する。

【0005】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施の形態を示す図に基づいて説明する。図1は本発明の第1実施の形態を示す膜磁石の形成に用いた多極マグネトロンスパッタ装置の断面図で、図2は図1の装置で形成した本発明の膜磁石の基本構造図を示す。真空容器1内に第1のターゲット2を設け、これと対向させて40mmの間隔を置き基板3を基板取付台4に配置している。基板3はヒータ6によって加熱することができ、基板3の温度をヒータ電源13によってコントロールするようにしてある。第1のターゲット2と基板3の間にはスパッタ初期に飛散する粒子が基板に付着するのを防ぐため第1のシャッタ5および第2のシャッタ51を配設しており、第1のターゲット2および第2のターゲット21にはターゲット電源7によって直流電圧または高周波電圧を印加でき

るようにしてある。ターゲットの近傍にはフィラメント8とアノード電極10を配置し、フィラメント電源9によりフィラメントを加熱し熱電子を発生させてアノード電極10へ集めるようにしており、フィラメント電源9とアノード電源11によりターゲット電流は任意に変えられるので、ターゲット電圧とターゲット電流はそれぞれ独立に変えることが可能である。

【0006】次にこのような装置構成において、硬磁性層はNd-Fe-Bで表される合金をターゲットに用い、軟磁性層はFeをターゲットに用いてこのような硬磁性層と軟磁性層とから多層合金膜を形成する場合について説明する。第1のターゲット2は薄膜中のNdが13原子%、Bが12原子%、残部がFeとなるように溶解精造したものを用い、第2のターゲット21は純Feを用いた。このターゲットをスパッタ電極に取り付け、基板3を基板台4に設置した後、真空容器内を排気系14により 2×10^{-6} Torr以下に排気する。ヒータ電源13を調整しながら基板を摂氏500度に加熱しておき、フィラメント電源9を調整してフィラメント8を加熱した後、アルゴンガス導入バルブ12を開いてアルゴンガスを導入し、圧力が 8×10^{-3} Torrになるように調整した。アノード電源を調整してターゲット電流を0.5Aにした後、シャッタ5及び51を閉じたままターゲット電源7により負の直流電圧300Vを印加して30分間予備スパッタを行い、ターゲット表面の酸化物などを除去し、第1のシャッタ5のみを開いてスパッタを行い、一層あたり3nmの厚さの膜を形成して第1のシャッタ5を閉じた。次に第2のシャッタ51を開いてスパッタを行い、一層あたり9nmの厚さの膜を形成してシャッタ51を閉じた。以上の操作を100回繰り返し、全体の厚さが約1.2μmの積層膜を形成した。この後、再び真空容器内を 2×10^{-6} Torr以下に排気し、基板温度が室温になるまで冷却した。

【0007】上記の膜磁石の形成方法において、軟磁性層の一層あたりの膜厚さが12nmを超えると軟磁性層中に磁壁が生じるために保磁力が低下するので効果がなく、また6nm未満では膜磁石全体としての飽和磁化の向上が十分でないで効果がなかった。一方、硬磁性層は一層あたりの膜厚さが4nmを超えると膜磁石全体としての飽和磁化の向上が十分でなく、また2nm未満では結晶が十分に形成されないで効果がなかった。さらに、軟磁性層のスパッタ時の温度が摂氏650度を超えると硬磁性層と軟磁性層間で拡散が進み、全体としての磁気特性が劣化するので効果がなく、またスパッタ時の温度が摂氏150度に満たないと膜の付着力が弱く、実用性がないので効果がなかった。一方の硬磁性層はスパッタ時の温度が摂氏550度を超えると結晶が粗大化して厚さ方向の異方性が得られないで効果がなく、またスパッタ時の温度が摂氏450度に満たないと非晶質となり保磁力が小さく

なり効果がないことがわかった。このような状況から、膜磁石の形成の方法としては硬磁性層であるNd-Fe-Bの合金をスパッタにより基板温度摂氏450度ないし550度の範囲で一層あたりの膜の厚さを2nmないし4nmの合金膜を形成し、また軟磁性層であるFeをスパッタにより基板温度摂氏150度ないし650度の範囲で一層あたりの膜の厚さを6nmないし12nmの合金膜を形成するとともに、これらの硬磁性層と軟磁性層を交互に積層する操作を100回繰り返すことにより全体の厚さが約1.2μmのNd₂Fe₁₄BとFeの積層膜を形成することができた。すなわち図2に示すように基板3の上に硬磁性層15と軟磁性層16が交互に積層された構成となり、軟磁性層は飽和磁化を少なくとも15kG有したもので形成される。図3は前述の条件で作製した膜磁石の直流磁化特性を示した例である。膜厚方向に磁界を印加したときの磁気特性であり、最大エネルギー積が50MGO。を超えていた。このように保磁力の低下や磁気特性の低下、厚さ方向に異方性が得られない等の問題を同時に解決できた。なお、ここでターゲットに用いられる硬磁性層のNd-Fe-Bは希土類元素Ndに代えて、同じ希土類元素であるDyまたはPrを用いてもよく、あるいはNd、Dy、Prのうちの二つを組み合わせただけのもでも良い。一方の軟磁性層はターゲットに用いられるFeの他にFe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-NあるいはFe-Bのいずれかの一つを用いても良い。

【０００８】以下、作用について説明する。上述の構成及び方法により、本発明の膜磁石では硬磁性層と軟磁性層との間に強い交換結合が働き、軟磁性層の幅が磁壁幅より十分小さく、軟磁性層の磁化が周囲の硬磁性層に拘束されて全体が一つの硬磁性体として振る舞う。さらに、本膜磁石では硬磁性層より大きな飽和磁化を有する軟磁性層の存在により、従来の硬磁性層に保護膜を施したものあるいは硬磁性層単体のものでは得られなかった大きな最大エネルギー積を得ることができる。

【0009】次に第2実施の形態について説明する。第1実施の形態と同じ装置を用いて、硬磁性層はNd-Fe-Bで表される合金以外のターゲット、すなわちSm-Co、Sm-Fe-Tiを用い、軟磁性層はFeをターゲットに用いてこのような硬磁性層と軟磁性層とから多層合金膜を形成する場合について説明する。第1実施の形態と同じスパッタにより多層合金膜が形成されるが、Sm-Co、Sm-Fe-Tiで表される硬磁性層とFeからなる軟磁性層は、多層合金膜形成後は硬磁性層はそれぞれSmCo₅またはSm(Co, Fe, Cu, Zr)_{70/10}、SmFe₁₁Tiとなる。SmCo₅についてはスパッタ時の温度が摂氏800度を超えると常磁性相の成長により磁気特性が損なわれるので効果がなく、摂氏600度に満たないとSm₂Co₁₇相が析出して逆磁区の芽となり保磁力が低下するので効果がないこ

とがわかった。そこで、 SmCo_5 はスパッタにより基板温度摂氏 600°C ないし 800°C の範囲で形成することで問題を解決できた。一方、硬磁性層が $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zr})_{7.07}$ の場合、スパッタ時の温度が摂氏 750°C を超えると析出相の粗大化により磁壁のピン止め効果が小さくなり保磁力が低下するので効果がなく、摂氏 550°C に満たないと 2 相分離が起こらず十分な磁気特性が得られないので効果がないことがわかった。そこで、硬磁性層である $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zr})_{7.07}$ はスパッタにより基板温度摂氏 550°C ないし 750°C の範囲で形成することで問題を解決できた。さらに、硬磁性層が $\text{SmFe}_{11}\text{Ti}$ の場合には、スパッタ時の温度が摂氏 600°C を超えると結晶が粗大化して厚さ方向の異方性が得られないので効果がなく、またスパッタ時の温度が摂氏 450°C に満たないと非晶質となり保磁力が小さくなり効果がないことがわかった。そこで、希土類硬磁性層である $\text{SmFe}_{11}\text{Ti}$ はスパッタにより基板温度摂氏 450°C ないし 600°C の範囲で形成することで問題を解決できた。なお、軟磁性層はターゲットに用いられる Fe の他に Fe-Ni 、 Fe-Co 、 Fe-Si 、 Fe-N あるいは Fe-B のいずれかの一つを用いても良い。作用については第 1 実施の形態について同様なので省略する。

【0010】続いて第3実施の形態について説明する。硬磁性層は $\text{Sm}-\text{Fe}$ で表される合金をターゲットに用い、軟磁性層は Fe をターゲットに用いてこのような硬磁性層と軟磁性層とから多層合金膜を形成する場合について説明する。第1実施の形態と同じ装置を用いて、このような硬磁性層と軟磁性層とから多層合金膜を形成し、硬磁性層が $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_2$ 層、軟磁性層が Fe 層に形成される場合である。その形成方法のプロセスが第1実施の形態と一部異なるため変更点のみ説明する。図1の装置構成において第1のターゲット2は薄膜中の Sm と Fe の原子比が2:17となるように溶解鋳造したものを用い、第2のターゲット21は純 Fe を用いている。第1実施の形態における各ターゲットをスパッタ電極に取り付ける工程から全体の厚さが約 $1.2\mu\text{m}$ の積層膜を形成する工程までは同じであるが、この後真空容器内にアンモニアと水素の混合ガスを導入し、分圧がそれぞれ 0.35atm 、 0.65atm となるように調整して120分間窒化処理を行う方法をとった。その後基板温度が室温になるまで冷却した。

【0011】上記の膜磁石の形成方法において、硬磁性層が $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ 層の場合、スパッタ時の温度が摂氏 550 度を超えると結晶が粗大化して厚さ方向の異方性が得られないので効果がなく、またスパッタ時の温度が摂氏 450 度に満たないと非晶質となり保磁力が小さくなり効果がないことがわかった。窒化時の温度が摂氏 550 度を越えると窒化物が分解して磁気特性が損なわれるので効果がなく、摂氏 400 度に満たないと窒化が十分に

行われず、十分な磁気特性が得られないので効果がないことがわかった。このような状況から、膜磁石の形成方法としては $\text{Sm}-\text{Fe}$ で表される合金層をスパッタにより基板温度摂氏450度ないし550度の範囲で一層あたりの膜の厚さを2nmないし4nmの合金膜を形成し、また軟磁性層である Fe をスパッタにより基板温度摂氏150度ないし650度の範囲で一層あたりの膜の厚さを6nmないし12nmの合金膜を形成するとともに、硬磁性層と軟磁性層を窒素雰囲気中で摂氏400度ないし550度の範囲で熱処理することにより $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_2$ 層と $\text{Fe}-\text{N}$ 層に形成することができ、問題を解決できた。同様に膜厚方向に磁界を印加したときの磁気特性を見ると、最大エネルギー積が50MGO。を超えていた。作用については第1実施の形態について同様なので省略する。

【0012】次に第4実施の形態について説明する。上述の第1実施の形態の膜磁石形成において、同様の多極スパッタ装置を用い、非晶質の希土類合金層と非晶質の Fe 系合金層をそれぞれスパッタした後、熱処理により結晶化させ、希土類の硬磁性層と Fe 系軟磁性層からなる積層合金膜を形成させる方法でも良い。また、あるいは非晶質の希土類合金層と非晶質の Fe 系合金層をスパッタにより積層非晶質合金層を成膜した後に、積層非晶質合金層を熱処理により一括して硬磁性層および軟磁性層に結晶化させる方法でも良い。なお、硬磁性層の熱処理時の温度は $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 、 $\text{SmFe}_{11}\text{Ti}$ の場合、摂氏700度を超えると結晶が粗大化して厚さ方向の異方性が得られないので効果がなく、また熱処理時の温度が摂氏300度に満たないと非晶質膜は結晶化されず保磁力が小さくなり効果がないことがわかった。軟磁性層についても同様である。希土類の非晶質合金層のスパッタ時の基板温度は摂氏20度ないし200度の範囲で成膜する。また、硬磁性層が SmCo_5 、 $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zr})_{7.07}$ の場合については、熱処理温度は摂氏400度ないし800度とすることで問題を解決できることが明らかになった。作用については第1実施の

形態について同様なので省略する。以上、本発明の実施の形態では成膜に多極スパッタを用いたが、真空蒸着、CVD等の成膜方法を用いても同様の膜磁石が得られることは明白である。

【0013】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、最大エネルギー積が50MGO。を超える膜磁石を得られる。このため膜厚を薄くしても有効な磁気エネルギーが十分に利用できるので膜磁石の用途が広がり、永久磁石を応用した装置の高性能化、小型化が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の膜磁石の形成に用いた多極マグネトロンスパッタ装置の断面図。

【図2】本発明で得られた膜磁石の構成を示す断面図。

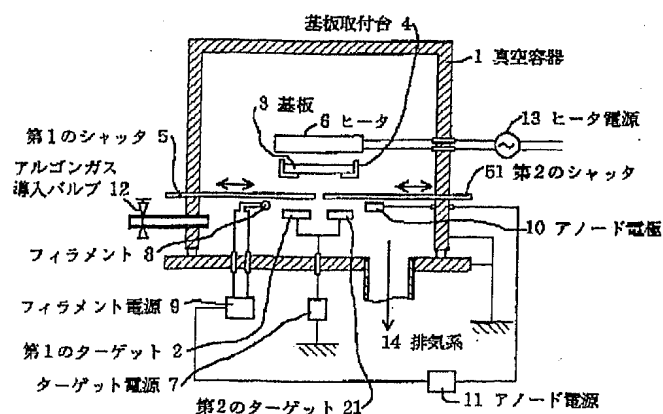
【図3】本発明で得られた膜磁石の直流磁化特性を示す図。

【図4】減磁曲線とパーミアンスの関係を示す図。

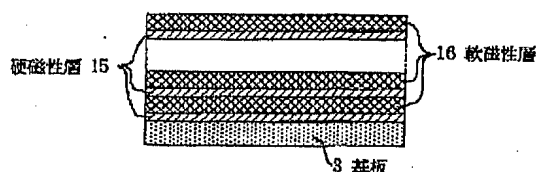
【符号の説明】

- 1：真空容器
- 2：第1のターゲット
- 21：第2のターゲット
- 3：基板
- 4：基板取付台
- 5：第1のシャッタ
- 51：第2のシャッタ
- 6：ヒータ
- 7：ターゲット電源
- 8：フィラメント
- 9：フィラメント電源
- 10：アノード電極
- 11：アノード電源
- 12：アルゴンガス導入バルブ
- 13：ヒータ電源
- 14：排気系
- 15：硬磁性層
- 16：軟磁性層

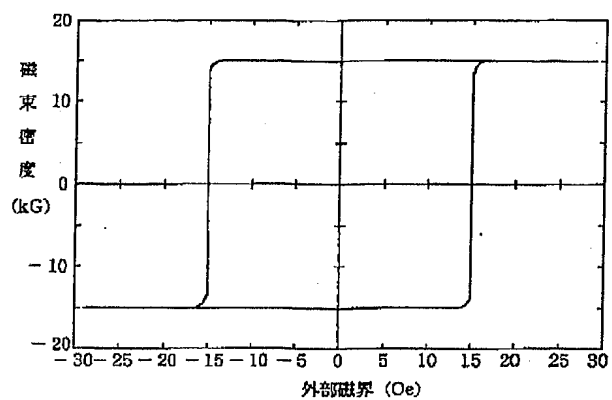
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

